嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响

张晓羊　王永强　张文举*　刘建成　杨　亮

（石河子大学动物科技学院，石河子 832003）

摘　要：本试验旨在研究嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响。试验选用 21 日龄健康黄羽肉鸡公鸡 180 只，随机分成 3 组，分别为Ⅰ组（对照组）、Ⅱ组和Ⅲ组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。对照组饲喂含 6%棉籽粕的基础饲粮，Ⅱ组饲喂含 6%嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕的试验饲粮，Ⅲ组饲喂在含 6%棉籽粕的基础饲粮中添加 $7×10^4$ CFU/g 的嗜酸乳杆菌的试验饲粮。试验期分为 2 个阶段，21～42 日龄和 43～64 日龄。结果表明：1）21～42 日龄时，与对照组相比，Ⅱ组黄羽肉鸡的平均日增重（ADG）提高了 8.61%(P<0.05)，料重比（F/G）下降了 7.69%(P<0.05)；Ⅲ组的 ADG、平均日采食量（ADFI）和 F/G 均无显著差异(P>0.05)。与Ⅲ组相比，Ⅱ组的 ADG 提高了 4.36%(P<0.05)。43～64 日龄时，与对照组相比，Ⅱ组的 ADG 提高了 12.32%(P<0.05)；Ⅲ组的 ADG、ADFI 和 F/G 均无显著差异(P>0.05)。与Ⅲ组相比，Ⅱ组的 ADG 提高了 7.58%(P<0.05)。21～64 日龄时，各组的 ADG、ADFI 和 F/G 均无显著差异(P>0.05)。2）42 日龄时，与对照组相比，Ⅱ组黄羽肉鸡的屠宰率、半净膛率和全净膛率分别提高了 2.99%、7.55%和 12.33%(P<0.05)；Ⅲ组的屠宰性能指标无显著差异(P>0.05)。与Ⅲ组相比，Ⅱ组的屠宰率和半净膛率分别提高了 3.43%和 6.38%(P<0.05)。64 日龄时，与对照组相比，Ⅱ组的屠宰率、胸肌率和腿肌率分别提高了 5.27%、8.92%和 7.05%(P<0.05)，半净膛率提高了 6.84%(P<0.01)；Ⅲ组的屠宰性能指标均无显著差异(P>0.05)。与Ⅲ组相比，Ⅱ组的屠宰率、半净膛率和胸肌率分别提高了 4.08%、4.35%和 5.16%(P<0.05)。3）42 日龄时，与对照组相比，Ⅱ组黄羽肉鸡的血清总蛋白（TP）和白蛋白（ALB）含量分别提高了 10.06%和 12.60%(P<0.05)，血清尿素氮（UN）含量降低了 46.76%(P<0.01)；Ⅲ组的血清生化指标无显著差异(P>0.05)。与Ⅲ组相比，Ⅱ组的血清 TP 和 ALB 含量分别提高了 9.58%和 13.10%(P<0.05)，血清 UN 含量降低了 47.88%(P<0.01)。64 日龄时，与对照组相比，Ⅱ组的血清钙（Ca）含量提高了 11.74%(P<0.05)，

收稿日期：2016-06-28
基金项目：国家自然科学基金项目（31360564）；新疆研究生科研创新项目（XJGRI2014058）
作者简介：张晓羊（1990-），女，河北邯郸人，硕士研究生，研究方向为饲料资源的开发与利用。Email: zhangxiaoyang1115@163.com
*通信作者：张文举，教授，博士生导师，Email: zhangwj1022@sina.com

血清 UN 含量降低了 37.40%(P<0.01)；III组的血清生化指标无显著差异(P>0.05)。与III组相比，II组的血清 UN 含量降低了 40.58%(P<0.01)。由此可见，饲粮中添加发酵棉籽粕可改善黄羽肉鸡的生长性能和屠宰性能，增强黄羽肉鸡对蛋白质、脂肪和 Ca 等营养物质的消化吸收。

关键词：发酵棉籽粕；黄羽肉鸡；生长性能；屠宰性能；血清生化指标

中图分类号：S831；S816.6　　文献标识码：　　文章编号：

动物的健康是高效生产的前提，而在畜禽生产中动物健康不断受到各种不利因素的威胁，动物抵御不良因素的机制是免疫系统及免疫反应。如何提高家禽的机体免疫力、增强家禽的抵抗能力、维持家禽机体健康以及提高家禽的生产性能一直备受广大学者的关注。抗生素的使用可以提高禽类的生产性能，在禽类养殖中应用广泛；但近些年来抗生素在禽类养殖中的弊端也越来越明显，目前一些国家已经严格限制了抗生素在禽类养殖中的使用。益生菌作为一种理想的抗生素替代品，能够有效增加动物肠道中的有益微生物，提高肠道上皮屏障功能，维持消化道内微生态平衡，提高动物的生产性能和免疫功能以及维持动物机体健康。棉籽粕是棉籽预榨浸提或直接浸提后的副产物，蛋白质含量丰富、代谢能高，是一种良好的饲料资源；但由于棉籽粕中含有棉酚、环丙烯脂肪酸和单宁等抗营养因子，因而在畜禽养殖中的应用受到了限制。而利用益生菌发酵棉籽粕，可以有效破坏和减少抗营养因子（如游离棉酚、纤维)的含量，提高饲料的营养价值，并且这些益生菌分泌的一些酶类可以有效降解蛋白质为小分子肽类[1-2]。研究发现，棉籽粕经发酵后，其中的游离棉酚含量有效降低，必需氨基酸的利用率提高，蛋白质品质提高，且增加了酶等其他功能性营养成分[3-5]，营养品质得到改善，为其在禽类养殖中的大量应用提供了可能。乳酸菌是发酵棉籽粕常用的益生菌，利用乳酸菌发酵棉籽粕能够降低饲粮 pH，提高乳酸菌的活菌数，改善动物肠道 pH，增加优势菌群的数量，从而抑制有害菌的生长，并可预防动物肠道疾病的发生，增强动物的免疫功能[6]。嗜酸乳杆菌是人类和动物肠道中的一种重要肠道微生物，具有维持肠道菌群平衡、提高动物生产性能和机体免疫功能等作用，且耐酸性强，可利用葡萄糖、果糖、乳糖和蔗糖等进行发酵并产生乳酸等有机酸[7]。乳酸具有调节肠道 pH、抑制有害微生物的生长等特点[8]，对抑制病原菌的繁殖具有重要意义。本试验利用嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕，研究饲粮中添加发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响，以期为发酵棉籽粕在畜牧生产中

的应用提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

发酵底物：棉籽粕、麸皮，由新疆天康饲料科技有限公司提供。

发酵菌种：嗜酸乳杆菌，由石河子大学动物营养研究生实验室提供。

培养基：MRS 固体培养基、MRS 液体培养基，购自杭州微生物试剂有限公司。

1.2 发酵棉籽粕的制备

发酵底物棉籽粕和麸皮的比例为 9:1，发酵条件为：每 100 g 发酵底物接种 6 mL 嗜酸乳杆菌菌液（菌液浓度为 2.52×10^{6} CFU/mL），底物初始水分含量为 40%，于 37 ℃在数显电热培养箱（HPX-9162MBE）中无氧发酵 48 h，发酵结束后在烘箱中 40 ℃烘干，粉碎后过 60 目筛，发酵前后棉籽粕营养成分含量变化见表 1。

表 1 发酵前后棉籽粕营养成分含量变化（干物质基础）

Table 1 Changes of nutrient contents of cottonseed meal before and after fermentation (DM basis)

项目 Items	棉籽粕 Cottonseed meal	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal
粗蛋白质 CP/%	37.95	42.79
粗脂肪 EE/%	0.58	0.94
粗灰分 Ash/%	4.28	4.31
钙 Ca/%	0.40	0.42
磷 P/%	0.68	0.73
游离棉酚 Free gossypol/(mg/kg)	571.73	302.73
嗜酸乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus*/(CFU/g)	1.51×10^{5}	2.00×10^{6}
乳酸 $C_3H_6O_3$/%		7.50

1.3 试验动物与试验饲粮

将 300 只 1 日龄黄羽肉鸡公鸡饲喂商品饲粮 17 d 后，再饲喂对照组饲粮 3 d，以适应试验粉状饲粮。然后从中选择健康、体重接近的 21 日龄黄羽肉鸡公鸡 180 只，采用单因素试

验设计，随机分成 3 组，分别为Ⅰ组（对照组）、Ⅱ组和Ⅲ组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。试验饲粮参照 NRC（1994）[9]进行配制，试验饲粮组成及营养水平见表 2。对照组饲喂含 6%棉籽粕的基础饲粮，Ⅱ组饲喂含 6%嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕的试验饲粮（饲粮中活菌数的实测值为 7.00×10^4 CFU/g），Ⅲ组饲喂在含 6%棉籽粕的基础饲粮中添加 7.00×10^4 CFU/g 嗜酸乳杆菌的试验饲粮，现配现用。试验期分为 2 个阶段，21～42 日龄和 43～64 日龄。采用代谢笼分栏饲养，试验期间自由采食和饮水，按常规程序进行饲养管理。试验于新疆天康试验鸡场进行，试验用黄羽肉鸡由新疆天康试验鸡场提供。

表 2　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of the experimental diet (air-dry basis)　%

项目 Items	21~42 日龄 21 to 42 days of age			43~64 日龄 43 to 64 days of age		
	对照组 Control group	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	对照组 Control group	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ
原料 Ingredients						
玉米 Corn	66.60	66.94	66.60	69.27	69.28	69.27
豆粕 Soybean meal	14.01	13.67	14.01	12.10	12.14	12.10
菜籽粕 Rapeseed meal	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
棉籽粕 Cottonseed meal	6.00		6.00	6.00		6.00
发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal		6.00			6.00	
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.88	0.87	0.88	0.66	0.65	0.66
棉籽油 Cottonseed oil	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
石粉 Limestone	1.52	1.52	1.52	1.43	1.43	1.43
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.53	0.54	0.53	0.22	0.19	0.22
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.16	0.16	0.16	0.02	0.01	0.02
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]						
代谢能 ME/（MJ/kg）	12.81	12.83	12.81	12.89	12.89	12.89
粗蛋白质 CP	20.00	20.00	20.00	18.89	19.00	18.89
钙 Ca	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.80
有效磷 AP	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30
赖氨酸 Lys	1.20	1.20	1.20	0.90	0.88	0.90
蛋氨酸 Met	0.50	0.50	0.50	0.35	0.35	0.35

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：Mn 78 mg，Zn 72 mg，Cu 8 mg，Se 0.20 mg，I 0.40 mg，VA 12 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 15 IU，VK_3 2.2 mg，VB_1 2.2 mg，VB_2 5.5 mg，VB_{12} 0.02 mg，烟酸 nicotinic acid 35 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 12 mg，叶酸 folic acid 1.20 mg，生物素 biotin 0.15 mg，胆碱 choline 1 200 mg。

2)营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能

分别于黄羽肉鸡 21、42 和 64 日龄时，对各组肉鸡进行称重（称重于早晨空腹进行），记录采食量（耗料重），以重复为单位计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2 屠宰性能

分别于黄羽肉鸡 42 和 64 日龄时，禁食 12 h（自由饮水）后从每个重复中随机选取 1 只鸡，称重、屠宰，参照《家禽生产学》[10]中方法进行屠宰，测定活重、屠体重、全净膛重、胸肌重、腿肌重和腹脂重，用于计算屠宰性能指标，计算公式如下：

屠宰率（%）=（屠体重/活重）×100；

半净膛率（%）=（半净膛重/活重）×100；

全净膛率（%）=（全净膛重/活重）×100；

胸肌率（%）=（胸肌重/全净膛重）×100；

腿肌率（%）=（腿肌重/全净膛重）×100；

腹脂率（%）=（腹脂重+肌胃外脂肪重）/全净膛重×100。

1.4.3　血清生化指标

分别于黄羽肉鸡 42 和 64 日龄时，禁食 12 h（自由饮水）后从每个重复中随机选取 1 只鸡，翅静脉采血 5 mL，2 500 r/min 离心 15 min，分离血清，液氮冷冻后–80 ℃保存，用于测定血清生化指标，各指标均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

1.5　数据处理

利用 SPSS 13.0 统计软件中 one-way ANOVA 程序对试验数据进行单因素方差分析，各组间平均值采用 LSD 法进行多重比较，结果以平均值±标准差表示，P＜0.05 表示差异显著，P＜0.01 表示差异极显著。

2　结　果

2.1　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知，21～42 日龄时，与对照组相比，II 组黄羽肉鸡的 ADG 和 ADFI 分别提高了 8.61%(P<0.05)和 0.58%(P>0.05)，F/G 下降了 7.69%(P<0.05)；III组的生长性能指标与对照组相比无显著差异(P>0.05)，ADG 提高了 3.87%，ADFI 和 F/G 分别下降了 2.23%和 6.07%。与III组相比，II 组的 ADG 和 ADFI 分别提高了 4.36%(P<0.05)和 2.80%(P>0.05)，F/G 下降了 1.75%(P>0.05)。

43～64 日龄时，与对照组相比，II 组的 ADG 和 ADFI 分别提高了 12.32%(P<0.05)和 2.64%(P>0.05)，F/G 分别下降了 8.62%(P>0.05)；III组的的生长性能指标与对照组相比无显著差异(P>0.05)，ADG 和 ADFI 分别提高了 3.81%和 1.21%，F/G 下降了 2.07%。与III组相比，II 组的 ADG 和 ADFI 分别提高了 7.58%(P<0.05)和 1.40%(P>0.05)，F/G 下降了 7.17%(P>0.05)。

21～64 日龄时，与对照组相比，II 组的 ADG 和 ADFI 分别提高了 6.24%和 1.81%，F/G 下降了 4.20%；III组的 ADG 提高了 2.33%，ADFI 和 F/G 分别下降了 0.19%和 2.29%。与III组相比，II 组的 ADG 和 ADFI 分别提高了 3.68%和 1.96%，F/G 下降了 1.99%。各组的生长性能指标均无显著差异(P>0.05)。

表 3　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of cottonseed meal fermented by *Lactobacillus acidophilus* on growth

performance of yellow-feathered broilers

项目 Items	对照组 Control group	II 组 Group II	III组 Group III
21~42 日龄 21 to 42 days of age			
平均日增重 ADG/g	43.88±2.00[b]	47.66±1.14[a]	45.58±0.53[b]
平均日采食量 ADFI/g	107.99±4.13	108.62±1.94	105.58±2.70
料重比 F/G	2.47±0.14[a]	2.28±0.07[b]	2.32±0.08[ab]
43~64 日龄 43 to 64 days of age			
平均日增重 ADG/g	54.87±2.06[b]	61.63±1.75[a]	56.96±5.15[b]
平均日采食量 ADFI/g	158.89±8.12	163.09±2.53	160.81±3.52
料重比 F/G	2.90±0.21	2.65±0.11	2.84±0.31
21~64 日龄 21 to 64 days of age			
平均日增重 ADG/g	51.10±0.82	54.29±1.19	52.09±3.04
平均日采食量 ADFI/g	133.44±4.88	135.85±1.37	133.19±2.58
料重比 F/G	2.62±0.11	2.51±0.06	2.56±0.17

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)，无字母及相同字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as bellow.

2.2 嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

由表 4 可知，42 日龄时，与对照组相比，II 组黄羽肉鸡的屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率分别提高了 2.99%(P<0.05)、7.55%(P<0.05)、12.33%(P<0.05)、4.05%(P>0.05)和 7.57%(P>0.05)，腹脂率下降了 17.86%(P>0.05)；III组的屠宰性能指标与对照组相比无显著差异(P>0.05)，半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率分别提高了 1.09%、2.80%、2.05%和 4.91%，腹脂率下降了 3.95%。与III组相比，II 组的屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率分别提高了 3.43%(P<0.05)、6.38%(P<0.05)、9.27%(P>0.05)、

1.97%(P>0.05)和 2.54%(P>0.05)，腹脂率下降了 14.48%(P>0.05)。

64 日龄时，与对照组相比，II组的屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率分别提高了 5.27%(P<0.05)、6.84%(P<0.01)、6.97%(P>0.05)、8.92%(P<0.05)和 7.05%(P<0.05)，腹脂率下降了 17.37%(P>0.05)；III组的屠宰性能指标与对照组相比无显著差异(P>0.05)，屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率分别提高了 1.15%、2.39%、1.63%、3.57%和 2.27%，腹脂率下降了 19.74%。与III组相比，II组的屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率分别提高了 4.08%(P<0.05)、4.35%(P<0.05)、5.26%(P>0.05)、5.16%(P<0.05)和 4.67%(P>0.05)。

表 4　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

Table 4　Effects of cottonseed meal fermented by *Lactobacillus acidophilus* on slaughter performance of yellow-feathered broilers　　%

项目 Items	对照组 Control group	II组 Group II	III组 Group III
42 日龄 42 days of age			
屠宰率 Dressing percentage	89.73±1.58^{b}	92.41±1.27^{a}	89.35±0.82^{b}
半净膛率 Percentage of half-eviscerated yield	79.76±0.83^{b}	85.78±0.70^{a}	80.63±4.30^{b}
全净膛率 Percentage of eviscerated yield	64.30±2.34^{b}	72.23±1.23^{a}	66.11±5.26^{ab}
腹脂率 Percentage of abdominal fat	2.28±0.16	1.87±0.36	2.19±0.25
胸肌率 Percentage of breast muscle	15.95±1.34	16.60±0.51	16.28±2.01
腿肌率 Percentage of leg muscle	19.15±1.25	20.69±1.57	20.09±1.98
64 日龄 64 days of age			
屠宰率 Dressing percentage	86.58±2.54^{b}	91.14±0.81^{a}	87.57±1.38^{b}
半净膛率 Percentage of half-eviscerated yield	80.11±1.56^{bB}	85.59±0.10^{aA}	82.02±2.50^{bAB}
全净膛率 Percentage of eviscerated yield	65.71±1.68	70.29±2.15	66.78±2.94
腹脂率 Percentage of abdominal fat	3.09±1.04	2.55±0.31	2.48±0.39
胸肌率 Percentage of breast muscle	17.35±0.43^{b}	18.89±0.56^{a}	17.97±0.21^{b}
腿肌率 Percentage of leg muscle	20.37±0.62^{b}	21.82±0.79^{a}	20.83±0.60^{ab}

2.3　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

由表5可知，42日龄时，与对照组相比，II组黄羽肉鸡的血清总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）和钙（Ca）含量分别提高了10.06%(P<0.05)、12.60%(P<0.05)和13.33%(P>0.05)，血清磷（P）、总胆固醇（T-CHO）、尿素氮（UN）和甘油三酯（TG）含量分别降低了9.47%(P>0.05)、6.05%(P>0.05)、46.76%(P<0.01)和15.87%(P>0.05)；III组的血清生化指标与对照组相比无显著差异(P>0.05)，血清TP、Ca、P和UN含量分别提高了0.45%、5.24%、1.58%和2.16%，血清ALB、T-CHO和TG含量分别降低了0.44%、3.03%和20.63%。与III组相比，II组的血清TP、ALB、Ca和TG含量分别提高了9.58%(P<0.05)、13.10%(P<0.05)、7.69%(P>0.05)和6.00%(P>0.05)，血清P、T-CHO和UN含量降低了10.88%(P>0.05)、3.12%(P>0.05)和47.88%(P<0.01)。

64日龄时，与对照组相比，II组的血清TP、ALB和Ca含量分别提高了8.74%(P>0.05)、12.20%(P>0.05)和11.74%(P<0.05)，血清P、T-CHO、UN和TG含量分别降低了14.84%(P>0.05)、13.69%(P>0.05)、37.40%(P<0.01)和15.09%(P>0.05)；III组的血清生化指标与对照组相比无显著差异(P>0.05)，血清TP、ALB、Ca和UN含量分别提高了1.45%、2.36%、1.30%和5.34%，血清P、T-CHO和TG含量分别降低了2.75%、6.78%和7.55%。与III组相比，II组的血清TP、ALB和Ca含量分别提高了7.18%(P>0.05)、9.60%(P>0.05)和10.30%(P>0.05)，血清P、T-CHO、UN和TG含量分别降低了12.43%(P>0.05)、7.41%(P>0.05)、40.58%(P<0.01)和8.16%(P>0.05)。

表5　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

Table 5　Effects of cottonseed meal fermented by *Lactobacillus acidophilus* on biochemical indexes in serum of yellow-feathered broilers

项目 Items	对照组 Control group	II组 Group II	III组 Group III
42日龄 21 to 42 days of age			
总蛋白 TP/(g/L)	40.34±0.73[b]	44.40±0.83[a]	40.52±3.09[b]
白蛋白 ALB/(g/L)	20.24±0.68[b]	22.79±1.07[a]	20.15±1.63[b]
钙 Ca/(mmol/L)	2.10±0.20	2.38±0.28	2.21±0.20
磷 P/(mmol/L)	1.90±0.35	1.72±0.50	1.93±0.25
总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	6.28±0.19	5.90±0.32	6.09±0.26

尿素氮 UN/(mmol/L)	3.70±0.20[bB]	1.97±0.67[aA]	3.78±0.09[bB]
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.63±0.05	0.53±0.10	0.50±0.10
64 日龄 43 to 64 days of age			
总蛋白 TP/(g/L)	35.83±1.58	38.96±2.02	36.35±3.07
白蛋白 ALB/(g/L)	16.07±1.96	18.03±0.85	16.45±2.31
钙 Ca/(mmol/L)	2.30±0.14[b]	2.57±0.08[a]	2.33±0.15[ab]
磷 P/(mmol/L)	1.82±0.42	1.55±0.34	1.77±0.03
总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	8.11±2.84	7.00±2.24	7.56±0.91
尿素氮 UN/(mmol/L)	1.31±0.20[bB]	0.82±0.03[aA]	1.38±0.13[bB]
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.53±0.06	0.45±0.07	0.49±0.05

3 讨 论

3.1 嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能的影响

棉籽粕中含有棉酚、环丙烯脂肪酸和单宁等抗营养因子，直接在生产上应用会降低动物的生产性能，经发酵后，棉籽粕含有的抗营养因子可以得到有效的降解。Zhang 等[3]研究发现，棉籽粕发酵后，其中的游离棉酚降解率可以达到 94.6%。研究表明，饲粮中添加 15%的发酵棉籽粕对肉鸡的 AFDI 和 F/G 无显著影响，这可能与棉籽粕经微生物发酵后棉酚得到有效降解有关[11]。本试验结果表明，饲粮中添加 6%的发酵棉籽粕可以提高黄羽肉鸡的 ADG，并降低 F/G，提高黄羽肉鸡的生长性能，这与闫理东等[12]的研究结果相一致。本试验结果也显示，发酵降低了棉籽粕中游离棉酚的含量，这可能是棉籽粕发酵后可以提高黄羽肉鸡生长性能的原因之一，具体的影响机理还需要进一步研究。另外，发酵棉籽粕中的粗蛋白质含量提高，这可能与嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕过程中消耗碳水化合物以及发酵后棉籽粕含有菌体蛋白有关。棉籽粕发酵后蛋白质品质提高也会对黄羽肉鸡的生长性能产生影响。益生菌是肠道中正常菌群的优势菌群，可以与肠黏膜紧密结合，从而构成肠道的生物屏障，并且能通过占位效应、营养竞争和分泌的代谢产物及细菌素等阻挡外来致病菌的入侵和抑制条件致病菌的过度生长，维持肠道的微生态平衡[13]。用益生菌发酵棉籽粕不仅可以改善棉籽粕的品质，同时在发酵棉籽粕中还含有一定数量的益生菌。本试验结果表明，在含 6%棉籽粕的基础饲粮中直接添加嗜酸乳杆菌，黄羽肉鸡的生长性能也略有提高，说明饲粮中含有的嗜酸乳杆菌

对黄羽肉鸡的生长性能也有促进作用，但是由于嗜酸乳杆菌的添加量是按含 6%发酵棉籽粕饲粮中所含数量确定的，并未达到 10^5 CFU/g，这可能是其促进作用不显著的原因之一。另外，嗜酸乳杆菌随饲粮进入动物体内，其产生的酶类对饲粮中一些营养物质的消化和吸收也具有重要的作用。

3.2　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

有关发酵棉籽粕对黄羽肉鸡屠宰性能的影响也有报道，闫理东等[12]研究发现，饲粮中添加 3%～6%的发酵棉籽粕能显著提高黄羽肉鸡的半净膛率、屠宰率、胸肌率和腿肌率。廖玉英等[14]研究表明，益生菌可以显著提高肉鸡的屠宰率、全净膛率和胸肌率，并且有降低腹脂率的趋势，从而提高肉鸡的屠宰性能。本试验结果表明，饲粮中添加 6%发酵棉籽粕可以提高黄羽肉鸡的屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率，降低腹脂率；在含 6%棉籽粕的基础饲粮中添加嗜酸乳杆菌对黄羽肉鸡的屠宰性能也略有提高，这与上述研究结果相一致。表明棉籽粕经过发酵后，不仅其抗营养因子含量会降低，饲粮中含有的嗜酸乳杆菌对动物的生长也具有一定的促进作用，但是发酵棉籽粕对黄羽肉鸡屠宰性能的影响要大于嗜酸乳杆菌的影响。另外，发酵棉籽粕在进入动物体后，嗜酸乳杆菌对其消化吸收也有一定作用，这对动物的生长也可能会产生影响。

3.3　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

蛋白质是生物体内最重要的生物大分子之一，分布于细胞的各个部位，具有广泛的生物学功能，每种细胞的活性都依赖于一种或几种特定的蛋白质。血清 TP 是机体蛋白质的来源之一，是多种蛋白质的复合物，主要用于组织修补和能量供给，其含量的高低可作为机体蛋白质代谢强弱的标志。血清 ALB 含量的高低可以反映机体的免疫水平[15]。闫理东等[16]和聂存喜等[17]研究发现，发酵棉籽粕可以提高肉鸡血清中 TP 和 ALB 的含量。本试验结果表明，饲粮中添加发酵棉籽粕可显著提高 42 日龄黄羽肉鸡血清 TP 和 ALB 含量，64 日龄黄羽肉鸡血清 TP 和 ALB 含量也有提高，这与上述研究结果相一致。说明饲粮中添加发酵棉籽粕可以增强肉鸡的蛋白质代谢，并在一定程度上提高肉鸡的免疫力。蛋白质分解代谢的主要产物之一是 UN，其含量的高低可以直接反映机体的蛋白质代谢水平，UN 含量降低，表明蛋白质合成代谢增强，分解代谢降低，即氮的利用率提高[18]。本试验结果表明，饲粮中添加发酵棉籽粕可以极显著降低黄羽肉鸡血清中 UN 的含量，这表明棉籽粕发酵后可有效提高饲粮

中蛋白质的利用率，促进营养物质的吸收利用。Ca、P 是动物体内含量最高的 2 种矿物质元素，其含量因动物的种类、年龄和营养状况的不同稍有变化。吴妍妍等[19]研究表明，棉籽粕在发酵过程中产生的有机酸会降低肠道 pH，Ca、P 易以离子的形式存在，从而有利于吸收，因而饲粮中添加发酵棉籽粕可增加肉鸡血清中 Ca、P 含量，Ca、P 代谢增强。本试验结果表明，饲粮中添加发酵棉籽粕可以提高黄羽肉鸡血清中 Ca 的含量，而血清中 P 的含量并未增加，反而有所降低，差异虽不显著，但也说明发酵棉籽粕不一定能提高血清中 P 的含量，这与聂存喜等[17]研究结果相一致，其影响机制有待进一步研究。血清中 P 含量降低可能也是 Ca 含量增加的影响因素之一[20]。益生菌对动物机体的营养物质代谢也有一定影响。本试验结果表明，在含 6%棉籽粕的基础饲粮中添加嗜酸乳杆菌可使黄羽肉鸡的血清 Ca 水平也略有增加，说明棉籽粕发酵后其中所含的嗜酸乳杆菌对 Ca 的代谢也有影响。益生菌可以提高血清脂肪酶的活性，脂肪酶可以将多余的脂肪降解为脂肪酸和甘油，将多余的脂肪分解转化为能量消耗掉，抑制脂肪的合成与沉积[15]。本试验结果表明，发酵棉籽粕中的益生菌可以降低肉鸡血清中 T-CHO 和 TG 的含量，这与胡兰等[21]研究结果一致。

4 结 论

①饲粮中添加 6%发酵棉籽粕可以提高黄羽肉鸡的生长性能和屠宰性能，增强黄羽肉鸡对蛋白质、脂肪和 Ca 等营养物质的消化吸收。

②在含 6%棉籽粕的基础饲粮中直接添加嗜酸乳杆菌对黄羽肉鸡的生长性能和屠宰性能也有一定的促进作用。

参考文献：

[1] SUN H,TANG J W,YAO X H,et al.Improvement of the nutritional quality of cottonseed meal by *Bacillus subtilis* and the addition of papain[J].International Journal of Agriculture & Biology,2012,14(4):563–568.

[2] TANG J W,SUN H,YAO X H,et al.Effects of replacement of soybean meal by fermented cottonseed meal on growth performance,serum biochemical parameters and immune function of yellow-feathered broilers[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2012,25(3):393–400.

[3] ZHANG W J,XU Z R,ZHAO S H,et al.Development of a microbial fermentation process for detoxification of gossypol in cottonseed meal[J].Animal Feed Science and

Technology,2007,135(1/2):176–186.

[4] ZHANG W J,XU Z R,SUN J Y,et al.Effect of selected fungi on the reduction of gossypol levels and nutritional value during solid substrate fermentation of cottonseed meal[J].Journal of Zhejiang University Science B,2006,7(9):690–695.

[5] 邱良伟.发酵对棉粕营养特性及其在肉鸡中的应用研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2012.

[6] 程秀芳,朱丽梅,李丹,等.固体联合发酵对棉粕发酵产物富肽蛋白产量及脱毒效果的影响[J].家畜生态学报,2013,34(9):56–60.

[7] 肖仔君,陈惠音,杨汝德.嗜酸乳杆菌及其应用研究进展[J].广州食品工业科技,2003,19(增刊):90–92.

[8] REHBERGER J L,GLATZ B A.Response of cultures of *Propionibacterium* to acid and low PH:tolerance and inhibition[J].Journal of Food Protection,1998,61(2):211–216.

[9] COUNCIL N.Nutrient requirements of poultry[S]:9th ed.,Washington,D.C.:National Academy Press,1994.

[10] 杨宁.家禽生产学[M].北京:中国农业出版社,2002.

[11] 汤江武,吴逸飞,孙宏,等.发酵棉粕对肉鸡生长性能、血清生化指标及免疫功能的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(5):29–34.

[12] 闫理东,张文举,聂存喜,等.发酵棉粕对黄羽肉鸡生产性能和屠宰性能的影响[J].石河子大学学报:自然科学版,2012,30(2):171–176.

[13] VINDEROLA G,MATAR C,PERDIGON G.Role of intestinal epithelial cells in immune effects mediated by gram-positive probiotic bacteria:involvement of toll-like receptors[J].Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology,2005,12(9):1075–1084.

[14] 廖玉英,黄英飞,韦凤英,等.不同益生菌制剂对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能及肉品质的影响[J].中国家禽,2014,36(23):29–32.

[15] 梁海威,朱海洋,张琳,等.植物乳杆菌对肉鸡生长性能和血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(3):589–596.

[16] 闫理东,张文举,聂存喜,等.发酵棉粕对黄羽肉鸡血液生化指标和免疫性能的影响[J].中国

畜牧兽医,2012,39(10):95–100.

[17] 聂存喜,张文举,闫理东,等.棉粕源生物发酵饲料对黄羽肉鸡表观消化率、血液生化指标、免疫指标的影响[J].中国家禽,2011,33(23):23–27.

[18] RECKTENWALD E B,ROSS D A,FESSENDEN S W,et al.Urea-N recycling in lactating dairy cows fed diets with 2 different levels of dietary crude protein and starch with or without monensin[J].Journal of Dairy Science,2014,97(3):1611–1622.

[19] 吴妍妍,张文举,聂存喜,等.发酵棉粕对肉鸡生长性能、血液理化和免疫指标的影响[J].饲料研究,2013(8):8–12.

[20] 贺佳,方热军.饲粮不同磷水平对三黄鸡钙磷代谢和养分消化率的影响[J].饲料广角,2010(2):18–19.

[21] 胡兰,胡锐,刘梅,等.饲用微生物添加剂对大骨鸡血液生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2004(3):26–27.

Effects of Cottonseed Meal Fermented by *Lactobacillus acidophilus* on Growth Performance, Slaughter Performance and Biochemical Indexes in Serum of Yellow-Feathered Broilers

ZHANG Xiaoyang WANG Yongqiang ZHANG Wenju* LIU Jiancheng YANG Liang

(*College of Animal Sciences and Technology, Shihezi University, Shihezi* 832003, *China*)

Abstract: This study was conducted to examine the effects of cottonseed meal fermented by *Lactobacillus acidophilus* on growth performance, slaughter performance and biochemical indexes in serum of yellow-feathered broilers. A total of 180 21-day-old healthy male yellow-feathered broilers were randomly divided into 3 groups with 3 replicates per group and 10 broilers per replicate. The three groups were groups Ⅰ (control group), Ⅱ and Ⅲ, the broilers in the control group were fed the basal diet included 6% cottonseed meal, and those in group Ⅱ were fed the experimental diet included 6% fermented cottonseed meal, the others in group Ⅲ were fed the basal diet included 6% cottonseed meal and 7.00×10^4 CFU/g *Lactobacillus acidophilus*. The experimental period included two phase of 21 to 42 days of age and 43 to 64 days of age. The results showed as follows: 1) at 21 to 42 days of age, compared with the control

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangwj1022@sina.com （责任编辑 李慧英）

group, average daily gain (ADG) of yellow-feathered broilers in group Ⅱ was significantly increased by 8.61% (P<0.05) and the ratio of feed to gain (F/G) in group Ⅱ was significantly decreased by 7.69% (P<0.05), and average daily feed intake (ADFI), ADG and F/G in group Ⅲ had no significant differences (P>0.05). ADG in group Ⅱ was significantly increased by 4.36% compared with group Ⅲ (P<0.05). At 43 to 64 days of age, compared with the control group, ADG in group Ⅱ was significantly increased by 12.32% (P<0.05), and ADFI, ADG and F/G in group Ⅲ had no significant differences (P>0.05). ADG in group Ⅱ was significantly increased by 7.58% compared with group Ⅲ (P<0.05). At 21 to 64 days of age, ADFI, ADG and F/G had no significant differences among all groups (P>0.05). 2) At 42 days of age, compared with the control group, dressing percentage, percentage of half-eviscerated yield and percentage of eviscerated yield of yellow-feathered broilers in group Ⅱ were significantly increased by 2.99%, 7.55% and 12.33% (P<0.05), respectively; and the slaughter performance indexes in group Ⅲ had no significant differences (P>0.05). The dressing percentage and percentage of half-eviscerated yield in group Ⅱ were significantly increased by 3.43% and 6.38% compared with group Ⅲ (P<0.05). At 64 days of age, compared with the control group, dressing percentage, percentage of breast muscle and percentage of leg muscle in group Ⅱ were significantly increased by 5.27%, 8.92% and 7.05% (P<0.05), respectively, and percentage of half-eviscerated yield in group Ⅱ was significantly increased by 6.84% (P<0.01); and the slaughter performance indexes in group Ⅲ had no significant differences (P>0.05). The dressing percentage, percentage of half-eviscerated yield and percentage of breast muscle in group Ⅱ were significantly increased by 4.08%, 4.35% and 5.16% compared with group Ⅲ (P<0.05). 3) At 42 days of age, compared with the control group, the contents of total protein (TP) and albumin (ALB) in serum of yellow-feathered broilers in group Ⅱ were significantly increased by 10.06% and 12.60% (P<0.05), respectively, and the content of serum urea nitrogen (UN) in group Ⅱ was significantly decreased by 46.76% (P<0.01); and the biochemical indexes in serum in group Ⅲ had no significant differences (P>0.05). Compared with group Ⅲ, the contents of TP and ALB in serum in group Ⅱ were significantly increased by 9.58% and 13.10% (P<0.05), respectively, and

the content of UN in serum in group Ⅱ was significantly decreased by 47.88% ($P<0.05$). At 64 days of age, compared with the control group, the content of calcium (Ca) in serum in group Ⅱ was significantly increased by 11.74% ($P<0.05$), and the content of UN in group Ⅱ was significantly decreased by 37.40% ($P<0.01$); and the biochemical indexes in serum in group Ⅲ had no significant differences ($P>0.05$). The content of UN in group Ⅱ was significantly decreased by 40.58% compared with group Ⅲ ($P<0.01$). In conclusion, dietary fermented cottonseed meal can improve the growth performance and slaughter performance of yellow-feathered broilers, enhance digestion and absorption of nutrients such as protein, fat and Ca of yellow-feathered broilers.

Key words: fermented cottonseed meal; yellow-feathered broilers; growth performance; slaughter performance; serum biochemical indexes